

На правах рукописи



Шмырина Виктория Александровна

**ФОНОВЫЙ И НАЛОЖЕННЫЙ ТИПЫ ЛИТОГЕНЕЗА
ПЕСЧАНЫХ И АЛЕВРИТОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
ПОЗДНЕЮРСКОГО И РАННЕМЕЛОВОГО ВОЗРАСТОВ
(НА ПРИМЕРЕ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ ПЛАСТОВ ЮС₁¹
И БС₁₁¹ КУСТОВОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
ЗАПАДНОЙ СИБИРИ)**

Специальность 25.00.06 – литология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Казань – 2015

Работа выполнена на кафедре минералогии и литологии Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского федерального университета.

Научный руководитель: **Морозов Владимир Петрович** – доктор геолого-минералогических наук, профессор.

Официальные
оппоненты: **Предтеченская Елена Андреевна** – доктор геолого-минералогических наук, вед. науч. сотр. отдела обобщения геологического материала и стратегического планирования, АО «Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья» (СНИИГГиМС);
Чернова Оксана Сергеевна – кандидат геолого-минералогических наук, зав. кафедрой геологии и разработки нефтяных месторождений института природных ресурсов, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого» Уральского отделения РАН.

Защита состоится «___» _____ в 14-30 часов на заседании Диссертационного совета Д 212.081.09 при Казанском федеральном университете по адресу: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 4/5, Института геологии и нефтегазовых технологий КФУ, ауд. 211.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского Казанского федерального университета.

Автореферат разослан «___» _____ 2015 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета



А.А. Галеев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время в Западно-Сибирском регионе остро стоит вопрос о вовлечении в разработку трудноизвлекаемых запасов, а также так называемой остаточной нефти. Для решения этой сложной и практически важной задачи в современной нефтегазовой литологии необходимо более детальное изучение терригенных пород продуктивных пластов, долгое время являющихся объектами нефтедобычи.

Известно, что на продуктивность пород оказывают влияние многие факторы, среди которых главными следует считать седиментологический и литогенетический (Алексеев, 2002; Бурлин, Конюхов и др., 1991; Кузнецов, 2012; Сахибгареев, 1989; Япаскурт, 2005 и др.). Под первым понимаются условия, в которых формируются осадки определенного состава, структуры и текстуры. Под вторым – физико-химические процессы, под воздействием которых осадок превращается в горную породу, которая может испытывать и вторичные изменения. Признается, что седиментологический фактор по сравнению с литогенетическим в большей степени определяет минеральный состав, структуры и текстуры терригенных пород, во многом обуславливая их пустотность. Однако роль последнего – литогенетического фактора – часто недооценивается.

Общеизвестно, что при проникновении флюида в породы происходит процесс уравнивания химически различных сред – твердой, жидкой и газообразной, в результате чего формируются зоны развития вторичных процессов, некоторые из которых могут существенно повлиять на коллекторские свойства пород. Согласно работам многих исследователей (Ушатинский, 1981; Сахибгареев, 1989 и др.), изучавших продуктивные пласты месторождений нефти и газа Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна, общепринятым является утверждение, что фильтрационно-емкостные свойства пород определяются особенностями их структуры и вещественного состава. Известно и то, что на распределение флюида в пустотном пространстве осадочных пород наибольшее влияние оказывают количественное содержание и минеральный состав тонкодисперсной составляющей терригенных отложений.

Поэтому в работе основное внимание уделено изучению глинистого цемента пород-коллекторов, состава и закономерностей пространственного распределения глинистых минералов, а также их влияния на фильтрационно-емкостные свойства пород. Изучение генезиса тонкодисперсной составляющей песчаников и алевролитов, а именно основных глинистых минералов, таких как каолинит, хлорит и гидрослюдистые минералов позволит прогнозировать зоны или области наиболее продуктивные и экономически менее «рисковые» при разработке месторождений.

Объекты исследования и фактический материал. Объектом исследования служили терригенные породы (глинистые песчаники и алевролиты) продуктивных пластов позднеюрского ЮС₁¹ и раннемелового БС₁₁¹ возрастов Кустового месторождения нефти, которое расположено в зоне сочленения Нижневартовского и Сургутского сводов – положительных структур первого порядка (Шпильман, 1998; Конторович, 2004).

В основу диссертационной работы положены результаты комплексных литолого-петрофизических исследований керна, выполненных в лабораториях Центра исследования керна и пластовых флюидов филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Когалым. Изучен материал 26 скважин объемом более 700 погонных метров. Систематизированы результаты исследований более 800 образцов. В их число входят более 100 шлифов, более 500 определений минерального и гранулометрического состава пород, более 700 определений их петрофизических свойств, более 100 образцов исследованы методом растровой электронной микроскопии.

Методы исследования и методика работ. Комплекс методов исследования керна включал макроскопическое изучение керна, его увязка с данными ГИС, отбор проб для проведения петрографических исследований, растровой электронной микроскопии и электронно-зондового микроанализа, гранулометрического, рентгенографического анализов, включая определение степени кристалличности, определения фильтрационно-емкостных свойств пород. Результаты исследований сопоставлялись с геолого-промысловыми данными, использовались статистические методы их обработки.

В работе принимается, что основными факторами, определяющими коллекторские свойства пород, являются седиментогенез и литогенез, включая вторичные изменения наложенного характера (Япаскерт, 2008 и др.). Оценка их роли осуществлялась с учетом геолого-исторического подхода.

Цель работы. Установление по результатам изучения глинистых минералов песчаных и алевроитовых пород роли фонового и наложенного типов литогенеза как основных факторов формирования коллекторских свойств продуктивных пластов.

Основные задачи исследования:

1. Определение литолого-петрофизических характеристик песчаных и алевроитовых пород.
2. Нахождение причинно-следственных связей между выявленными минералого-литологическими и коллекторскими характеристиками песчаников и алевролитов.
3. Выявление влияния фонового и наложенного типов литогенеза на коллекторские свойства пород.

4. Оценка влияния глинистых минералов песчаников и алевролитов на эффективность разработки продуктивных пластов.

Научная новизна:

1. Определены морфологические, химические и структурные особенности глинистых минералов песчаников и алевролитов.

2. Предложена морфолого-генетическая типизация глинистых минералов песчаников и алевролитов.

3. Выявлены роли фонового литогенеза (катагенеза) и вторичных изменений наложенного характера в формировании коллекторских свойств глинистых песчаников и алевролитов.

Практическая значимость:

1. Предложена литолого-технологическая типизация пород продуктивных пластов.

2. Построены литолого-технологические схемы продуктивных пластов месторождения по результатам изучения глинистых минералов.

3. Установлено влияние выделенных литолого-технологических типов пород продуктивных пластов на экономическую эффективность их разработки.

Защищаемые положения:

1. На основании оптико-микроскопического, электронно-микроскопического и рентгенографического исследований проведена морфолого-генетическая типизация глинистых минералов цемента песчаных и алевроитовых пород. Для каждого из глинистых минералов (каолинит, хлорит, гидрослюда) выявлены два морфолого-генетических типа, отличающиеся по морфологии, пространственной укладке зерен, степени кристалличности, химическому составу, а также происхождению.

2. По данным интерпретации результатов гранулометрического состава глинистых песчаных и алевроитовых пород, количественного состава глинистых минералов и фильтрационно-емкостных свойств пород определена роль седиментогенеза и фонового литогенеза, с одной стороны, и вторичных изменений наложенного характера (наложенного литогенеза), с другой, в формировании коллекторских свойств пород.

3. Комплексный учет результатов лабораторных исследований керна и промысловых данных позволил установить влияние минерального состава глинистой компоненты пород продуктивных пластов на экономические показатели их эксплуатации. Показано, что зоны развития пород с повышенным содержанием каолинита, как минерала с наименьшей способностью к набуханию, являются наиболее благоприятными для разработки.

Апробация работы и публикации. Основные положения работы докладывались на совещаниях и конференциях российского и международного уровня: «Математическое моделирование и

компьютерные технологии в разработке месторождений» (Уфа, 2012); на Всероссийских литологических совещаниях (Казань, 2011; Санкт-Петербург, 2012; Новосибирск, 2013), Уральских литологических совещаниях (Екатеринбург, 2012, 2014), на 3-й международной конференции «Новые геотехнологии для старых провинций» (Тюмень, 2013); на ежегодных конференциях молодых специалистов и молодых ученых филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмень (Тюмень, 2011–2014). Кроме этого, материалы диссертации докладывались на ежегодных научно-практических конференциях «Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО-Югры» (Ханты-Мансийск, 2011, 2012, 2013, 2014) и «XIII конференции молодых специалистов, работающих в организациях, осуществляющих деятельность связанную с использованием недр на территории Югры» (Ханты-Мансийск, 2013). По результатам исследований имеются 15 публикаций, в том числе 3 в изданиях, рекомендованных ВАК для защиты диссертаций.

Личный вклад автора. Автором самостоятельно проведена систематизация результатов лабораторных исследований керна, по итогам которой проведено литолого-петрофизическое описание части керна, отобраны дополнительные пробы и лично проведены их рентгенографические, оптико-микроскопические, электронно-микроскопические исследования. Выполнен анализ геолого-промысловой информации.

Достоверность результатов работы. Определяется значительными объемами изученного кернового материала и выполненными аналитическими исследованиями, воспроизводимостью полученных результатов, привлечением к интерпретации данных современных представлений о закономерностях формирования терригенных отложений, включающих седиментогенез, фоновый литогенез и вторичные изменения наложенного характера.

Структура работы. Работа состоит из введения, пяти глав и заключения. Объем работы составляет 136 страниц, включая 64 рисунка и 6 таблиц. Список литературы, охватывая зарубежные публикации, состоит из 175 наименований.

Благодарности. Автор благодарен научному руководителю д. г.-м. н., проф., заведующему кафедрой минералогии и литологии КФУ В.П. Морозову и сотрудникам литологической лаборатории: к. г.-м. н. Г.А. Кринари, к. г.-м. н. Э.А. Королеву, к. г.-м. н. А.Н. Кольчугину, к. г.-м. н. А.А. Ескину, ст. инж. Г.М. Ескиной. Выражает признательность д. г.-м. н., проф. А.И. Бахтину за помощь в проведении статистической обработки аналитических данных, к. г.-м. н. В.Г. Изотову, к. г.-м. н. Л.М. Ситдиковой, Р.Р. Хусаинову и многим другим сотрудникам Института геологии и нефтегазовых технологий КФУ. Автор также благодарен д. г.-м. н., проф. В.П. Алексееву, д. г.-м. н., проф. С.Б. Шишлову, к. г.-м. н.

Л.Н. Бружес, к. г.-м. н. Л.Г. Вакуленко, М.Р. Дулкарнаеву, к. г.-м. н. Е.А. Жуковской, к. г.-м. н. А.И. Сухареву, и многим другим за ценные консультации и советы. Выражает благодарность начальнику отдела литолого-физических исследований к. г.-м. н. Я.Х. Саетгалееву, руководству центра исследования керна и пластовых флюидов в лице начальника ЦИ-КиПФ В.В. Колпакова и главного геолога Ю.К. Романова за конструктивные и ценные рекомендации, а также руководству и сотрудникам ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь», ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» филиал в г. Тюмень, ТПП «Когалымнефтегаз» за предоставленный фактический материал.

КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ РАБОТЫ

ВВЕДЕНИЕ

Отмечена актуальность работы, обозначены цель и задачи исследования. Сформулированы научная новизна работы, ее практическая значимость, основные защищаемые положения. Указаны объект исследования и фактический материал, методы и методики исследования. Обосновывается достоверность работы. Показана апробация работы и отмечен личный вклад. Приводятся благодарности.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КУСТОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ И ЕГО ГЕОЛОГИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ

Освоение Западной Сибири началось в прошлом столетии в конце 40-х – начале 50-х годов. Большой вклад в изучении тектоники региона внесли В.С. Бочкарев, О.Г. Жеро, А.Э. Конторович, Н.Н. Ростовцев, М.Я. Рудкевич, В.С. Сурков, Н.П. Туаев, Д.Ф. Уманцев, В.И. Шпильман и др. Литология и минералогия мезозойских отложений Западной Сибири в связи с их нефтегазоносностью изучалась и изучается такими исследователями, как Л.Г. Вакуленко, Ф.Г. Гугари, Т.И. Гурова, А.В. Ежова, Е.А. Жуковская, О.Г. Зарипов, Ю.П. Казанский, А.Д. Коробов, Н.М. Недоливко, Г.Н. Перозио, Е.А. Предтеченская, Р.С. Сахибгареев, З.Я. Сердюк, И.Н. Ушатинский, О.С. Чернова, П.А. Ян и др.

Согласно региональной стратиграфической схеме мезозойских и кайнозойских отложений Западно-Сибирской равнины от 2004 года, исследуемые породы относятся к верхнему отделу юрской системы и нижнему отделу меловой системы. Основные нефтеносные интервалы приурочены к верхнему структурно-тектоническому этажу Западно-Сибирской плиты, который был сформирован в мезо-кайнозойское время в условиях длительного устойчивого прогибания территории.

Кустовое нефтяное месторождение было открыто в 1984 году. В тектоническом плане оно расположено в юго-западной части Северо-Вартовской мегатеррасы (структура I порядка), в зоне её сочленения с Нижневартовским сводом, Юганской мегавпадиной и Сургутским сводом (Шпильман, 1998 г.) (рис. 1). Мегатерраса в районе работ осложняется Ватъёганским валом и Могутлорским прогибом. Месторождение расположено в Сургутском нефтегазоносном районе Среднеобской нефтегазоносной области, где выделяется пять нефтегазоносных комплексов: нижне-среднеюрский, васюганский, баженовский, ачимовский и неокомский.

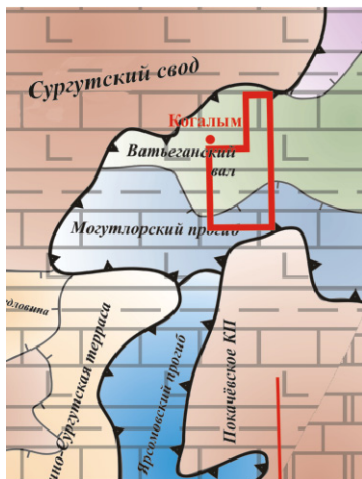


Рисунок 1. Тектоническое положение Кустового месторождения

В работе исследуются породы нефтеносных продуктивных пластов ЮС₁¹ и БС₁₁¹, выделяющиеся в объеме васюганского и неокомского нефтегазоносных комплексов, соответственно.

Пласты ЮС₁¹ и БС₁₁¹ представлены песчаниками средне-мелкозернистыми, мелкозернистыми и алевролитами мелко-крупнозернистыми. Породы относятся к коллекторам порового типа. Минералогический состав обломочной части песчаников и алевролитов полимиктовый, соответствует граувакковым аркозам.

Следует сказать, что, несмотря на довольно хорошую изученность названных пластов как коллекторов, многие практически важные вопросы, связанные с влиянием глинистых минералов на петрофизические свойства пород и эффективность, их разработки остаются не раскрытыми.

2. МЕТОДЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

На предварительном этапе исследований проводилось макроскопическое описание и фотографирование керна, увязанного по глубине в соответствии с данными ГИС. После этого проводился отбор представительных образцов для дальнейших лабораторных исследований.

Методика интерпретации полученных в ходе выполнения работы экспериментальных данных основывается на следующих положениях. Термин «литогенез» в настоящее время понимается двояко. С одной стороны, он включает все стадии формирования осадочных пород – гипергенез, перенос материала, седиментогенез, диагенез, катагенез и

метагенез (Страхов, 1960–1962). Этой же точки зрения придерживаются Н.В. Логвиненко (1968), В.Н. Холодов (1983), В.Н. Шванов (1988) и др. С другой стороны, под ним понимаются лишь те стадии осадочного процесса, которые объединяются общим термином «породообразование» – диагенез, катагенез, метагенез, а также вторичные изменения наложенного характера (Махнач, 1989, 2000; Морозов, Козина, 2007; Осадочные бассейны ..., 2004; Коссовская, Шутов, 1971; Тимофеев, Коссовская и др., 1974; Япаскурт, 2005 и др.). В настоящей работе предпочтение отдается последнему.

Литогенетические изменения осадочных толщ могут быть фоновыми и наложенными (Осадочные бассейны ..., 2004). Фоновые литогенетические изменения (диагенез, катагенез, метагенез) охватывают большие объемы осадочных толщ и распространены повсеместно. Факторами таких изменений являются, прежде всего, температура и давление, увеличивающиеся с глубиной. Немаловажную роль в таких изменениях играют и флюиды, имеющие седиментогенную природу или формирующиеся за счет дефлюидизации компонентов осадочных пород. Такие изменения часто бывают изохимическими, но в условиях дефлюидизации пород также и неизохимическими за счет миграции флюидов.

Наложённый тип литогенеза в отличие от фонового, как правило, приводит к неизохимическому преобразованию пород. Они проявляются преимущественно локально. Максимальные изменения при этом обычно наблюдаются в пределах апикальных (сводовых) частей поднятий, которые являются более проницаемыми для восходящих флюидов (Файф, Прайс и др., 1981), или зон трещиноватости.

Как при фоновом, так и при наложенном типе литогенеза порода претерпевает изменения, которые часто называют постседиментационными. Отнесение наблюдаемых в терригенных породах региона постседиментационных изменений к фоновым или наложенным в работе проводилось в соответствии с разработанными критериями, изложенными в диссертации В.П. Морозова (2009).

Критериями, по которым постседиментационные изменения терригенных пород относятся к процессам фонового литогенеза, являются: повсеместное распространение, отсутствие пространственной связи изменений с тектоническими структурами, отсутствие пространственной связи изменений с зонами нефте- или водонасыщенных пород и др.

Критерии, по которым постседиментационные изменения осадочных толщ относятся к вторичным процессам наложенного характера, являются: привнос вещества, вызывающего метасоматическое изменение пород; определенная пространственная локализация процессов, обусловленная литологическим и тектонофлюидодинамическим

факторами; вторичные минералы или их парагенезы, атипичные для конкретной стадии фонового литогенеза.

3. МОРФОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ ПЕСЧАНИКОВ И АЛЕВРОЛИТОВ

В основу создания морфолого-генетической типизации глинистых минералов песчаных и алевритовых пород положены данные электронно-микроскопического и рентгенографического изучения, а также определения химического состава минералов. Они выполнялись с учетом результатов макро- и микроскопического изучения зерна и отобранных образцов, также данных по определению коллекторских свойств пород.

Среди глинистых минералов, играющих роль цемента в песчаниках и алевролитах продуктивных пластов, обнаруживаются каолинит, хлорит и гидрослюдастые образования, содержание которых не превышает 10–15%. В последних, по данным рентгенографического изучения, обнаруживается до 10% смектитовой составляющей.

В исследуемых песчаниках и алевролитах каолинит встречается в виде двух морфологических разновидностей. Первая разновидность представлена в виде ксеноморфных зерен, имеющих плотную укладку (рис. 2, точка 1). Вторая разновидность каолинита, отличающаяся от первой значительно большей кристалличностью, встречается в виде вермикулитоподобных сростков, имеющих псевдогексагональную морфологию, кристаллы идиоморфны, реже гипидиоморфны. Такие агрегаты имеют рыхлую укладку зерен (рис. 2, точка 2). Данная разновидность каолинита чаще встречается в обломочных породах с более высокими коллекторскими свойствами.

Вторая морфологическая разновидность каолинита находится в тех участках пород, в которых наблюдаются корродированные зерна полевых шпатов и идиоморфные зерна кварца (рис. 3). Следовательно, можно признать, что формирование такого каолинита обязано растворению полевых шпатов и может сопровождаться регенерацией кварца. Согласно проведенным расчетам, процесс полного преобразования калиевых полевых шпатов в каолинит приводит к увеличению пористости на 46%, если кремнезем не расходуется на регенерацию кварца, или на 12%, если весь кремнезем расходуется на регенерацию кварца. За счет этого процесса увеличение пористости в породах, конечно же, меньше, т. к. содержание полевых шпатов в обломочной составляющей, по данным оптико-микроскопических определений, не превышает 50%. Данный факт объясняет повышенные значения пористости и проницаемости пород при увеличении содержания в них второй разновидности каолинита.

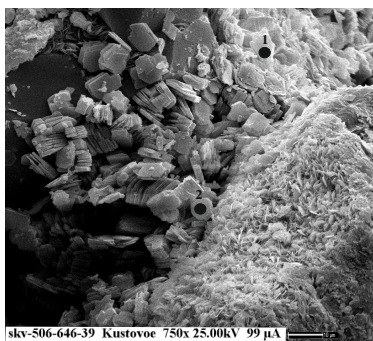


Рисунок 2. Морфологические разновидности каолинита:
1-я точка – ксеноморфные зерна;
2-я точка – зерна псевдогексагональной формы

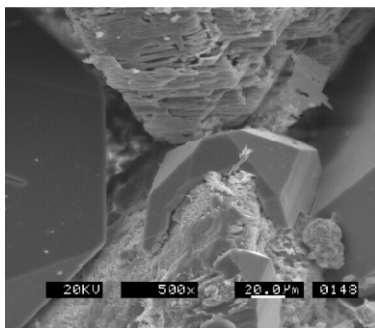


Рисунок 3. Растворение полевого шпата и регенерация зерен кварца

Хлорит также встречается в виде двух морфологических разновидностей (рис. 4). Первый образует плотные агрегаты с субпараллельным расположением ксеноморфных зерен и по данным определения его химического состава отличается от второго меньшей железистостью. Второй тип хлорита образует хорошо окристаллизованные частицы, представленные в виде пленок и крустификационных оторочек на обломочных зернах. Зерна обычно гипидиоморфны, агрегаты имеют рыхлую укладку.

Гидрослюдистые минералы также обнаруживаются в виде двух морфологических разновидностей (рис. 5). Весьма широко распространены их плотные агрегаты (верхняя часть снимка), сложенные частицами пластинчатой формы с неровными боковыми поверхностями и формирующие плотную укладку зерен. Вторые (центральная часть снимка), встречающиеся довольно редко, имеют пластинчатонитевидную форму, обладают рыхлой укладкой зерен. Следует также заметить, что, по данным рентгенографического анализа, в структуре минералов присутствуют смектитовые слои, устанавливаемые по асимметрии дифракционного отражения с $d = 10\text{\AA}$ и изменении степени асимметричности при насыщении препаратов этиленгликолем и их прокаливании.

Морфологический тип глинистых минералов, имеющий рыхлую укладку зерен и более совершенную форму частиц, чаще обнаруживается в породах, обладающих повышенной пористостью, а другой морфологический тип с плотной укладкой, ксеноморфными и пластинчатыми частицами распространен в породах, обладающих малыми значениями по-

ристости. Другими словами, степень идиоморфности глинистых частиц увеличивается от участков пород, обладающих малой пористостью, к участкам, пористость в которых много больше.

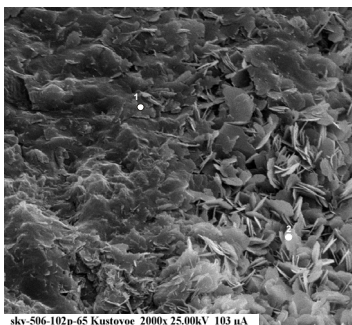


Рисунок 4. Морфологические разновидности хлорита:

1-я точка – ксеноморфные зерна; 2-я точка – гипидиоморфные зерна

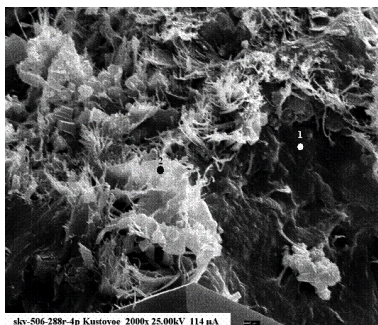


Рисунок 5. Морфологические разновидности гидрослюдистых минералов: 1-я точка – ксеноморфные зерна; 2-я точка – пластинчатонитевидные зерна

Проведенные исследования показывают, что по морфологическим и химическим признакам, а также степени кристалличности происхождение выявленных разновидностей глинистых минералов, на наш взгляд, может быть достаточно строго определено.

Идиоморфность зерен глинистых минералов указывает на их аутигенное происхождение, т. е. названные минералы являются новообразованными, сформированными либо в стадию катагенеза, либо в результате вторичных наложенных процессов. Они могут формироваться либо за счет растворения других минералов, либо образоваться за счет перекристаллизации седиментогенных зерен этого же минерала.

Установленные факты о совместном нахождении второй разновидности каолинита, частично растворенных зерен полевых шпатов и регенерационных зерен кварца указывают на то, что зерна этого каолинита являются новообразованными. Их происхождение, на наш взгляд, обусловлено реализацией вторичных изменений наложенного характера.

Отсутствие же признаков растворения одних зерен и кристаллизации других вблизи зерен вторых разновидностей хлорита и гидрослюды позволяет предположить, что их образование происходило вследствие перекристаллизации их седиментогенных разновидностей.

Ксеноморфные же зерна глинистых минералов (первые морфологические разновидности каолинита, хлорита и гидрослюда), имеющие плотную укладку, обладают признаками их седиментогенного происхождения.

Таким образом, по результатам проведенных работ предлагается морфолого-генетическая типизация глинистых минералов (табл. 1).

Материал главы обосновывает первое защищаемое положение работы.

4. ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОЛЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД

В основу выводов настоящей главы положены результаты статистической обработки данных гранулометрического анализа пород, их пористости и проницаемости, а также содержания глинистых минералов. Учитывались также данные, изложенные выше.

Связь между проницаемостью и пористостью для отложений пластов ЮС₁¹ и БС₁₁¹ не является строгой. Наиболее высокое несоответствие эти зависимости имеют при больших значениях пористости и проницаемости. Это указывает на многофакторность связей, которые могут определяться как седиментогенно-катагенетическими процессами (фоновый литогенез), так и вторичными изменениями наложенного характера (наложенный литогенез). Для определения влияния названных факторов на коллекторские свойства пород построены другие графики, позволяющие оценить роль каждого из них.

Однако привести в автореферате большое число построенных графиков не представляется возможным, поэтому их данные сведены в таблицу 2. Анализ таблицы показывает, что между данными коллекторских свойств обломочных пород, их гранулометрическом составе и содержании глинистых минералов имеются как положительные, так и отрицательные связи. Интерпретация таблицы 2 вполне может быть выполнена на основе факторов, определяющих коллекторские свойства песчаников и алевролитов (табл. 3). К их числу относятся, с одной стороны, седиментогенез, диагенез и катагенез, а с другой – вторичные изменения наложенного характера.

Так, например, седиментогенез и последующие стадии – диагенез и катагенез – определяют положительные связи между пористостью и проницаемостью, с одной стороны, и медианным размером зерен, с другой. Причем связь положительная, т. е. с увеличением медианного размера зерен наблюдается увеличение пористости и проницаемости. Это соответствует положениям механогенного седиментогенеза. В процессах

Таблица 1

Морфолого-генетическая типизация глинистых минералов

Минералы	Название разновидности	Морфологические особенности (признаки)	Укладка зерен	Место локализации в обломочных породах	Генезис
Каолинит	Ксеноморфная разновидность	Ксеноморфные зерна	Плотная	В плотных участках пород	Седиментогенный
	Идиоморфная разновидность	Вермикулитоподобные сростки псевдогексагональных зерен	Рыхлая	В пористых участках пород	Вторичный минерал, образованный в результате наложенных процессов (каолинитизация ПШ)
Хлорит	Ксеноморфная разновидность	Ксеноморфные зерна	Плотная	В плотных участках пород	Седиментогенный
	Гипидиоморфная разновидность	Агрегаты пластинчатых зерен	Рыхлая	В пористых участках пород	Катагенетический минерал, образованный в результате перекристаллизации
Гидрослюда	Ксеноморфная разновидность	Ксеноморфные зерна	Плотная	В плотных участках пород	Седиментогенный
	Пластинчатая разновидность	Пластинчатонитевидные зерна	Рыхлая	В пористых участках пород	Катагенетический минерал, образованный в результате перекристаллизации

Примечание: выявленные морфологические разновидности отличаются также по степени кристалличности и химизму (см. в тексте).

Таблица 2

Таблица значений коэффициентов корреляции между данными коллекторских свойств пород, их гранулометрическим составом и содержанием глинистых минералов

	Пористость, %	Проницаемость, $\text{н} \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$	Md, мкм	So	Содержание ПФ, %	Содержание каолинита в ПФ, %	Содержание хлорита в ПФ, %	Содержание ГС в ПФ, %
Пористость, %		+ 0,77 + 0,13	+ 0,68 + 0,20	- 0,28 - 0,05	- 0,54 - 0,23	+ 0,69 + 0,10	- 0,62 - 0,09	- 0,69 - 0,13
Проницаемость, $\text{н} \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$	+ 0,77 + 0,13		+ 0,48 + 0,64	- 0,28 - 0,27	- 0,52 - 0,06	+ 0,55 + 0,42	- 0,57 - 0,43	- 0,49 - 0,53
Md, мкм	+ 0,68 + 0,20	+ 0,48 + 0,64		- 0,41 - 0,43	- 0,66 - 0,37	+ 0,81 + 0,59	- 0,73 - 0,60	- 0,80 - 0,60
So	- 0,28 - 0,05	- 0,28 - 0,27	- 0,41 - 0,43		+ 0,76 + 0,57	- 0,07 - 0,09	+ 0,03 + 0,08	+ 0,12 + 0,12
Содержание ПФ, %	- 0,54 - 0,23	- 0,52 - 0,06	- 0,66 - 0,37	+ 0,76 + 0,57		- 0,44 - 0,09	+ 0,45 + 0,11	+ 0,41 + 0,06
Содержание каолинита в ПФ, %	+ 0,69 + 0,10	+ 0,55 + 0,42	+ 0,81 + 0,59	- 0,07 - 0,09	- 0,44 - 0,09		- 0,91 - 0,99	- 0,97 - 0,99
Содержание хлорита в ПФ, %	- 0,62 - 0,09	- 0,57 - 0,43	- 0,73 - 0,60	+ 0,03 + 0,08	+ 0,45 + 0,11	- 0,91 - 0,99		+ 0,80 + 0,93
Содержание ГС в ПФ, %	- 0,69 - 0,13	- 0,49 - 0,53	- 0,80 - 0,60	+ 0,12 + 0,12	+ 0,41 + 0,06	- 0,97 - 0,95	+ 0,80 + 0,93	

Примечание: 1) в ячейках даны коэффициенты корреляции; в верхней части ячеек – данные для пласта ЮС₁¹, в нижней – для пласта БС₁₁¹; количество данных для пласта ЮС₁¹ – 42, для пласта БС₁₁¹ – 53; 2) Md – медианный размер зерен, So – коэффициент отсортированности, ПФ – пелитовая фракция, ГС – гидрослоистый минерал.

Таблица 3

Генетическая интерпретация зависимостей, приведенных в таблице 2

Факторы, определяющие коллекторские свойства песчаников и алевролитов пластов ЮС ₁ ¹ и БС ₁₁ ¹	
Седиментогенез-катагенез	Вторичные изменения
Пористость / проницаемость – медианный размер зерен (+)	Пористость / проницаемость – содержание каолинита (+)
Пористость / проницаемость – коэффициент отсортированности зерен (–)	
Пористость / проницаемость – содержание пелитовой фракции / хлорита / ГС (–)	
Медианный размер зерен – коэффициент отсортированности (–)	Медианный размер зерен – содержание каолинита (+)
Медианный размер зерен – содержание пелитовой фракции / содержание хлорита / ГС (–)	
Коэффициент отсортированности зерен – содержание ПФ / содержание хлорита / ГС (+)	Коэффициент отсортированности зерен – содержание каолинита (–)
Содержание пелитовой фракции – содержание хлорита / ГС (+)	Содержание пелитовой фракции / хлорита / ГС – содержание каолинита (–)
Содержание хлорита – содержание ГС (+)	

Примечание: 1) в круглых скобках указан знак зависимости – положительный (+) или отрицательный (–); ГС – гидрослюдистый минерал.

диагенеза и катагенеза такая закономерность в целом измениться не может. Обратные зависимости, т. е. отрицательные связи, установлены между пористостью и проницаемостью, с одной стороны, и коэффициентом отсортированности зерен, с другой, что также соответствует положениям механогенного седиментогенеза. Аналогичные рассуждения могут быть приведены и для других зависимостей, представленных в левом столбце таблицы 3. Важным для всех них является то, что они могут быть интерпретированы с позиций механогенного седиментогенеза и последующих диагенеза и катагенеза.

Другой характер зависимостей, не обнаруживающих связей с седиментогенезом-катагенезом (т. е. процессами седиментогенеза и фонового литогенеза), получен при оценке связи содержания каолинита с коллекторскими свойствами пород, гранулометрическими коэффициентами, содержанием пелитовой фракции, а также хлоритом и гидрослюдистыми минералами (правый столбец таблицы 3). Полученные данные указывают на то, что каолинит, в отличие от хлорита и гидрослюдистых минералов, лишь в малой степени является седимен-

тогенно-катагенетическим, бóльшую его часть следует считать аутигенным минералом, образованным в результате изменения полевых шпатов.

Наибольшее содержание каолинита, в отличие от других глинистых минералов, наблюдается в обломочных породах, обладающих большим медианным размером частиц и более высокой степенью их отсортированности, что объясняется изначально более высокой пористостью и проницаемостью таких отложений. В связи с чем в них более интенсивно реализуются процессы каолинитизации за счет мигрирующих через породы флюидов.

Таким образом, изложенный материал позволяет оценить роль двух основных факторов, контролирующих коллекторские свойства обломочных пород. К их числу относятся седиментогенно-катагенетический, обусловленный процессами погружения осадочных толщ, и вторичные изменения наложенного характера, обусловленные процессами флюидодинамики. Наиболее важным из последних является каолинитизация.

Материал главы обосновывает второе защищаемое положение работы.

5. ВЛИЯНИЕ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ ПОРОД ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ РАЗРАБОТКИ

Известно, что глинистые минералы обладают одним из важных свойств, которое необходимо учитывать при разработке месторождений – это набухаемость. Наибольшим значением набухаемости обладают породы, в составе которых присутствуют глинистые минералы с лабильной структурой (сметиты, смешанослойные образования типа иллит-сметит). Набухаемость каолинита и хлорита заметно меньше. Согласно Н.В. Соколову (2000) и Ш.А. Гафарову (2003), наименьшей способностью к набуханию характеризуется каолинит, несколько бóльшей – хлорит и наибольшей набухающей способностью обладают сметиты и смешанослойные образования с лабильными межслоевыми промежутками.

Согласно опыту Л.Н. Бружес (2011), В.Г. Изотова, Л.М. Ситдиковой (1998), изучаемые терригенные породы возможно типизировать по относительному содержанию глинистых минералов в цементе. Ими выделено 9 парагенетических ассоциаций.

Автором, учитывая минералогические особенности глинистой составляющей изучаемых пород, а также различную их способность к набуханию, которая оказывает влияние на выбор состава закачиваемой

воды в нагнетательные скважины для вытеснения нефти, проводится литолого-технологическая типизация пород продуктивных пластов (табл. 4), в результате которой породы делятся на три типа. Согласно собранному и проанализированному фактическому материалу, породы, в составе которых фиксируется повышенное содержание гидрослюдистых минералов с небольшим количеством лабильных межслоевых промежутков, являются наиболее «рисковыми» для разработки, поэтому необходимость картирования мест их распространения не вызывает сомнения.

Таблица 4

Литолого-технологическая типизация пород продуктивных пластов

Тип пород с учетом содержания в них глинистых минералов		Состав цемента в %	
		Пласт БС ₁₁ ¹	Пласт ЮС ₁ ¹
I	Повышенное содержание гидрослюдистых минералов (ГС)	Каолинит – 1-2 Хлорит – 3-5 ГС – 3-4	Каолинит – 5-6 Хлорит – 1-1,5 ГС – 2,7-3
II	Промежуточные содержания каолинита	Каолинит – 2-3 Хлорит – 0,2-1 ГС – 0,2-1	Каолинит – 3-6 Хлорит – 0,5-2 ГС – 1-2
III	Повышенное содержание каолинита	Каолинит – 3-6 Хлорит – 1-3 ГС – 1-2	Каолинит – 6-8 Хлорит – 0,5-1 ГС – 1,5-2

Примечание: ГС – гидрослюдистый минерал.

С учетом этого построены литолого-технологические схемы пластов ЮС₁¹ и БС₁₁¹ (рис. 6). На них выделяются зоны (области), различающиеся между собой по влиянию минерального состава глинистого цемента на процесс вытеснения нефти из пласта. Для пород двух пластов выделяются три основные зоны. Зона I представлена песчаниками и алевролитами, в составе которых присутствует наибольшее количество гидрослюдистых минералов. Зона II представлена породами, в которых содержание каолинита промежуточное. В III зоне развиты породы с повышенным содержанием каолинита. В этом же ряду I–II–II снижается набухаемость глинистых минералов и, соответственно, снижается риск возможных осложнений при нефтедобыче. Также в этом ряду снижается риск кольтматации коллекторов вследствие закачки слабо минерализованных вод.

Однако влияние минералогических особенностей глинистой составляющей пород на эффективность разработки месторождения прослеживается также и при анализе промысловых данных. В ходе проведенной работы выявилось наличие связи между минералогическими особенностями пород продуктивных пластов, с одной стороны, и типом и количеством геолого-технологических мероприятий и объемами затрат на них, проводимых в определенной зоне, с другой стороны (табл. 5).

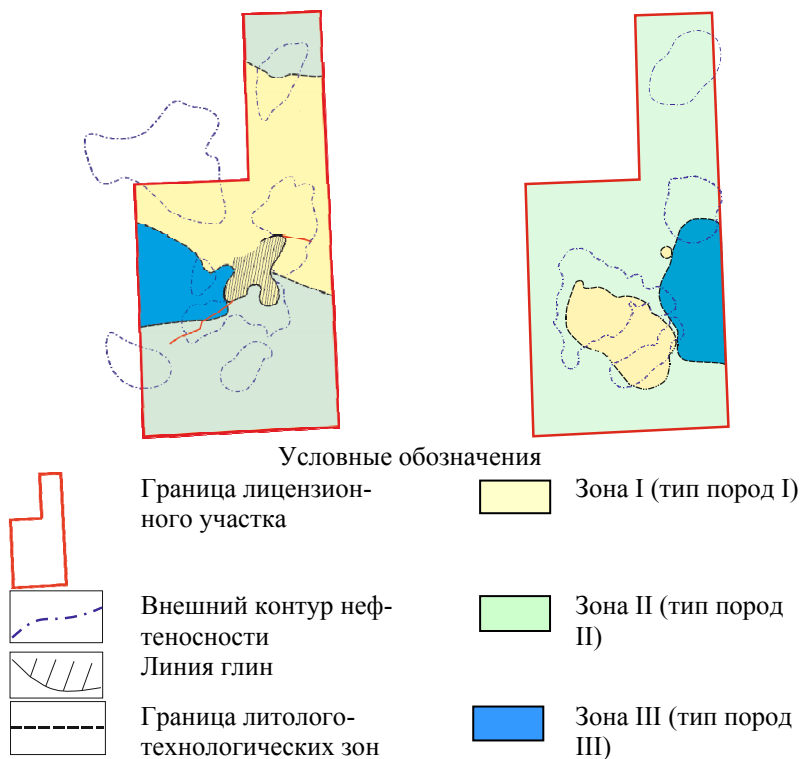


Рисунок 6. Литолого-технологические схемы Кустового месторождения для пластов ЮС₁¹ (слева) и БС₁₁¹ (справа)

Анализ таблицы 5 показывает, что между минеральным составом пород продуктивных пластов и финансовыми затратами на их эксплуатацию есть прямая связь, которую необходимо учитывать для реализации более эффективного процесса разработки.

Таким образом, наименее затратной и одновременно наименее «рисковой» с точки зрения набухающей способности пород является литолого-технологическая зона III, где в составе глинистых минералов цемента доминирует каолинит, а наиболее затратной и наиболее «рисковой» является литолого-технологическая зона I, где в составе цемента пород преобладают гидрослюдастые минералы.

Таблица 5

Экономическая эффективность эксплуатации скважин с коллекторами различного типа (за последние 10 лет)

Пласт	Тип коллектора	ПРС, КРС, РИР, ГРП (количество мероприятий)	Затраты на ПРС, КРС, РИР, ГРП (тыс. руб.)
БС ₁₁ ¹	I	59	15 135,7
	II	50	12 690,4
	III	11	2 893
ЮС ₁ ¹	I	72	70 894
	II	29	7 481
	III	24	6 239

Примечание: ПРС – подземный ремонт скважин, КРС – капитальный ремонт скважин, ОПЗ – обработка призабойной зоны, РИР – ремонтные изоляционные работы, ГРП – гидравлический разрыв пласта.

Проведенные исследования показывают, что учет минералогических особенностей пород, генезиса, структурных и физико-химических свойств глинистых минералов пелитовой фракции влияет на эффективность разработки месторождений. Результаты выполненной работы целесообразно использовать при прогнозировании геолого-технологических мероприятий при составлении проектов разработки месторождений.

Материал главы обосновывает третье защищаемое положение работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные литологические исследования пород продуктивных пластов позднеюрского (ЮС₁¹) и раннемелового (БС₁₁¹) возрастов Кустового нефтяного месторождения позволили уточнить некоторые важные особенности их строения и вещественного состава. Полученные результаты сводятся к следующим.

Проведена морфолого-генетическая типизация глинистых минералов цемента песчаных и алевритовых пород, которая учитывает такие их характеристики, как степень совершенства формы зерен (степень идиоморфности), степень кристалличности, химизм, пространст-

венную укладку зерен (плотная или рыхлая), морфологию агрегатов, место локализации (в плотных или пористых участках пород).

По названным признакам определяемые глинистые минералы подразделены на два основных типа:

- к первому типу относятся ксеноморфные глинистые минералы, обладающие плотной укладкой зерен, локализованные в плотных участках породы, имеющие относительно невысокую степень кристалличности (каолинит) и железистости (хлорит); генезис таких глинистых минералов – седиментогенный;

- ко второму типу относятся глинистые минералы, обладающие более высокой степенью идиоморфизма, имеющие рыхлую укладку зерен, веерообразную или вермикулитоподобную (каолинит), щетковидную или крустификационную (хлорит), нитевидную (гидрослюда) структуры агрегатов, отличающиеся более высокой кристалличностью (каолинит), железистостью (хлорит), локализованные в пористых участках пород; генезис таких глинистых минералов – катагенетический (хлорит, гидрослюда) и вторичный (каолинит).

Выявленные морфолого-генетические типы глинистых минералов по-разному влияют на коллекторские свойства пород продуктивных пластов. Минералы первого морфолого-генетического типа понижают коллекторские свойства пород, тогда как минералы, относимые ко второму морфолого-генетическому типу, повышают их. Так, например, в изученных породах среди каолинитов преобладают вторичные, поэтому высокое содержание этого минерала приводит к повышению коллекторских свойств пород. Наоборот, среди хлоритов и еще больше среди гидрослюдистых минералов преобладают седиментационные типы, поэтому породы, содержащие повышенные количества этих минералов, характеризуются низкими значениями проницаемости и пористости.

В результате анализа полученных зависимостей между данными коллекторских свойств песчаников и алевролитов, их гранулометрическим составом и содержанием глинистых минералов выявлено наличие как положительных, так и отрицательных связей. Такое объясняется влиянием различных факторов, определяющих коллекторские свойства пород. К их числу относятся, с одной стороны, седиментогенез, диагенез и катагенез, а с другой – вторичные изменения наложенного характера, которые могут быть связаны с миграцией глубинных флюидов. Большая часть выявленных зависимостей можно интерпретировать с позиций механогенного седиментогенеза и последующих диагенеза и катагенеза. Исключения были выявлены при оценке связи содержания каолинита с коллекторскими свойствами пород, грануломет-

рическими коэффициентами, содержанием пелитовой фракции, а также хлоритом и гидрослюдистыми минералами. Полученные данные указывают на то, что каолинит, в отличие от хлорита и гидрослюдистых минералов, лишь в малой степени является седиментогенно-катагенетическим, большую его часть следует считать аутигенным (вторичным) образованием, сформированным в результате изменения полевых шпатов (изменения наложенного характера).

Однако роль глинистых минералов, как цемента в обломочных породах, не ограничивается их вкладом в коллекторские свойства пород. Они также оказывают существенное влияние и на разработку месторождений, в частности на экономическую эффективность эксплуатации продуктивных пластов. Среди пород-коллекторов выделены три типа, различающиеся по количественному содержанию выявленных глинистых минералов, которые обладают различной способностью к набуханию. Это объясняется структурными особенностями как самих минералов, так и их агрегатов. Так каолинит и хлорит относятся к образованиям с наименьшей способностью к набуханию, а гидрослюдистые минералы, в структуре которых присутствуют разбухающие межслои, – с большей способностью к набуханию.

На основе минералого-литологической типизации пород продуктивных пластов, с учетом различной набухающей способности глинистых минералов, проведена их литолого-технологическая типизация. В результате предложенной типизации пород построены литолого-технологические схемы, которые позволили выделить зоны (области), различающиеся между собой по условиям разработки продуктивных пластов. Для пород продуктивных пластов БС₁₁^I и ЮС₁^I выделены три зоны. I зона – представлена породами, в которых наблюдается наибольшее содержание гидрослюдистых минералов, нежели в других зонах. Породы с таким составом глинистого цемента подвержены наибольшему набуханию. Поэтому для более продуктивного процесса добычи предлагается использовать при вытеснении нефти высокоминерализованную пластовую воду. II зона – развиты породы, с промежуточными содержаниями каолинита. Здесь степень набухания пород меньше, чем в зоне I. Поэтому вода, нагнетаемая в скважину, может иметь промежуточную минерализацию. В III зоне преобладают породы с повышенным содержанием каолинита по сравнению с другими глинистыми минералами, т. е. минерала с наименьшей способностью к набуханию. Данная зона является относительно менее «рисковой» для разработки. При вытеснении нефти из продуктивных пластов, сложенных породами с такими минералого-литологическими особенностями, возможно использование воды с более низкой степенью минерализа-

ции. Следует уточнить, что отсутствие собственного экспериментального материала позволяет лишь предположить, что состав закачиваемой в пласт воды для вытеснения нефти должен быть иной для каждой из выделенных зон.

Кроме этого, в результате анализа геолого-промысловых данных и учета финансовых затрат установлена связь между ними и минерало-литологическими особенностями пород продуктивных пластов. Определено, что наименее затратной и наименее «рисковой» является литолого-технологическая зона III, наиболее затратной и наиболее «рисковой» является литолого-технологическая зона I. Объяснением сказанному служит большая набухающая способность пород в I зоне по сравнению со II и тем более III.

Проведенные исследования показывают, что учет минерало-литологических особенностей пород, генезиса, структурных и физико-химических свойств глинистых минералов, входящих в их состав, необходим для повышения эффективности разработки продуктивных пластов.

Публикации по теме диссертации

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Шмырина, В.А. Влияние вторичных изменений пород-коллекторов на фильтрационно-емкостные свойства продуктивных пластов БС₁₁¹ и ЮС₁¹ Кустового месторождения / **В.А Шмырина**, В.П. Морозов // Ученые Записки Казанского университета. Сер. естеств. науки. – 2013. – Т. 155, кн. 1. – С. 95–100.

2. Шмырина, В.А. Изучение влияния глинистого фактора продуктивных пластов на технико-экономические показатели разработки месторождения (на примере Кустового месторождения) / **В.А Шмырина**, Я.Х. Саетгалеев // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2013. – № 9. – С. 7–13.

3. Шмырина В.А. Седиментологические и литогенетические факторы, определяющие коллекторские свойства терригенных пород / **В.А. Шмырина**, В.П. Морозов, А.И. Бахтин // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 10. – С. 18–20.

Основные публикации в материалах конференций и совещаний

4. Шмырина, В.А. Фациальная неоднородность как один из определяющих факторов при научно обоснованном выборе методов увеличения нефтеотдачи на примере пласта ЮС₁¹ Тевлинско-Русскинского месторождения / В.А. Шмырина // Материалы XI конфе-

ренции молодых ученых и специалистов, посвященной 15-летию ООО «КогалымНИПИнефть». – Шадринск: ОГУП «Шадринский Дом Печати». – 2011. – С. 143–153.

5. Шмырина, В.А. Глинистые минералы и их влияние на фильтрационно-емкостные свойства продуктивных пластов BC_{11}^1 и $ЮС_1^1$ Кустового месторождения / **В.А. Шмырина**, Я.Х. Саетгалеев // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО-ЮГРЫ (пятнадцатая научно-практическая конференция). – Том 2. – Ханты-Мансийск. – 2012. – С. 124–130.

6. Шмырина, В.А. Морфогенетические особенности глинистых минералов продуктивных на нефть отложений Кустового месторождения (пласты BC_{11}^1 и $ЮС_1^1$) / **В.А. Шмырина**, В.П. Морозов // Ленинградская школа литологии. Материалы Всероссийского литологического совещания, посвященного 100-летию со дня рождения Л.Б. Рухина. – Санкт-Петербург: СПбГУ, 2012 – Т. II – С. 202–204.

7. Шмырина, В.А. Закономерности пространственного распределения глинистых минералов и их связь с фильтрационно-емкостными свойствами коллекторов в эксплуатируемых пластах Кустового месторождения (пласты BC_{11}^1 и $ЮС_1^1$) / **В.А. Шмырина**, В.П. Морозов // Приоритетные и инновационные направления литологических исследований. Материалы 9-го Уральского литологического совещания. – Екатеринбург: ИГГУрО РАН, 2012. – С. 198–200.

8. Шмырина, В.А. Седиментологические и литогенетические факторы, определяющие коллекторские свойства терригенных пород / **В.А. Шмырина**, В.П. Морозов, Я.Х. Саетгалеев // Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории. Материалы VII Всероссийского литологического совещания. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2013. – Т. III. – С. 303–305.

9. Шмырина, В.А. Влияние литолого-минералогических особенностей пород продуктивного пласта на эффективность разработки месторождения (на примере Кустового месторождения Западной Сибири) / **В.А. Шмырина** // Виртуальные и реальные литологические модели. Материалы Всероссийской школы студентов, аспирантов и молодых ученых по литологии. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2014. – С. 130–131.